

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-171612

(43)Date of publication of application : 23.06.2000

(51)Int.Cl.

G02B 3/00  
 G02B 5/30  
 G02B 13/00  
 G02B 17/08  
 G11B 7/135  
 G11B 11/10

(21)Application number : 10-350538

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 09.12.1998

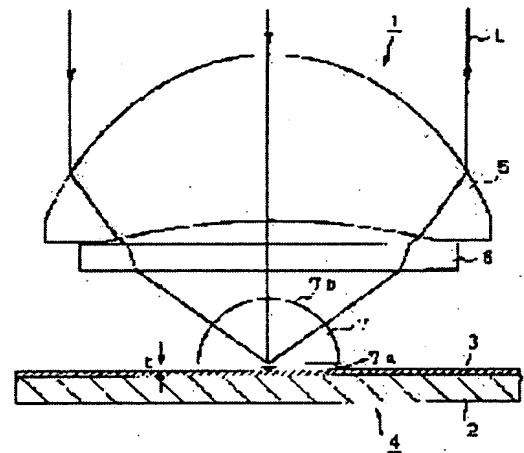
(72)Inventor : KUBOTA SHIGEO  
 EGUCHI NAOYA

## (54) MANUFACTURE OF OBJECTIVE LENS, OPTICAL HEAD AND PHASE COMPENSATOR

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To eliminate the distributing nonuniformity of a polarizing state caused by the total reflection on a solid immersion lens when the solid immersion lens is adopted as an objective lens.

SOLUTION: The objective lens 1 is constituted of a lens 5 converting incident light to convergent light, a phase compensator 6 arranged in the optical path of the incident light converted to the convergent light by the lens 5 and the solid immersion lens 7 formed so that the incident light passed through the compensator 6 is made incident on it. Then, the compensator 6 is constituted so that phase difference is produced between the (p) polarized light component and the (s) polarized light component of the incident light and it becomes different according to the inclination angle of a light beam passed through the compensator 6. Besides, the distributing nonuniformity of the polarizing state caused by the total reflection on the lens 7 is corrected by the compensator 6.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-171612

(P 2 0 0 0 - 1 7 1 6 1 2 A)

(43) 公開日 平成12年6月23日 (2000.6.23)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G02B 3/00		G02B 3/00	Z 2H049
5/30		5/30	2H087
13/00		13/00	5D119
17/08		17/08	Z 9A001
G11B 7/135		G11B 7/135	A

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全20頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-350538

(22) 出願日 平成10年12月9日 (1998.12.9)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 久保田 重夫

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 江口 直哉

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外2名)

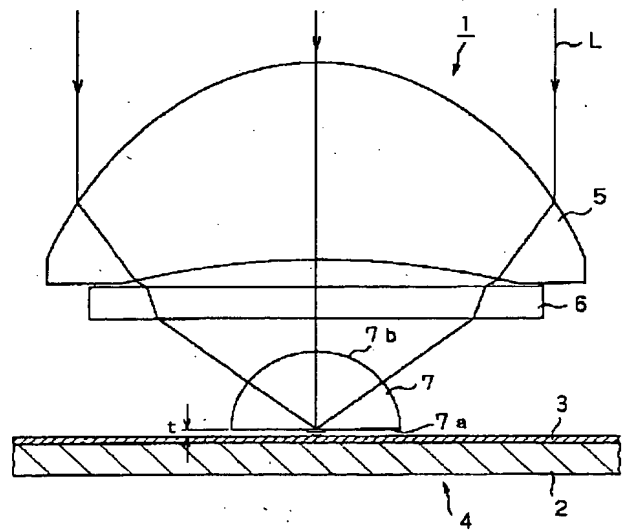
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 対物レンズ、光学ヘッド及び位相補償板の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 対物レンズにソリッドイマージョンレンズを採用するにあたり、当該ソリッドイマージョンレンズにおける全反射に起因する偏光状態の分布の不均一性を解消する。

【解決手段】 対物レンズを、入射光を収束光とするレンズと、当該レンズによって収束光とされた入射光の光路中に配された位相補償板と、当該位相補償板を通過してきた入射光が入射するようになされたソリッドイマージョンレンズとから構成する。ここで、位相補償板は、入射光のp偏光成分とs偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、位相補償板を通過する光線の傾角によって異なるようにしておく。そして、この位相補償板により、ソリッドイマージョンレンズにおける全反射に起因する偏光状態の分布の不均一性を補正する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入射光を収束光とするレンズと、

上記レンズによって収束光とされた入射光の光路中に配された位相補償板と、

上記位相補償板を通過してきた入射光が入射するようになされており、当該入射光の波長以下の間隔で物体に対向するように支持されるソリッドイマージョンレンズとを備え、

上記位相補償板は、入射光の p 偏光成分と s 偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされていることを特徴とする対物レンズ。

【請求項 2】 上記位相補償板は、光学的に均一な光学材料を用いて形成されてなることを特徴とする請求項 1 記載の対物レンズ。

【請求項 3】 上記位相補償板は、一軸性光学結晶を用いて形成されてなることを特徴とする請求項 1 記載の対物レンズ。

【請求項 4】 上記位相補償板を構成する一軸性光学結晶の光学軸が、上記ソリッドイマージョンレンズの光軸に対して略平行とされていることを特徴とする請求項 3 記載の対物レンズ。

【請求項 5】 上記位相補償板は、屈折率の異なる複数の部材からなることを特徴とする請求項 1 記載の対物レンズ。

【請求項 6】 上記位相補償板は、基板上に当該基板よりも屈折率が低い部材が配されてなるとともに、当該部材の基板に接していない方の面が非平面とされていることを特徴とする請求項 5 記載の対物レンズ。

【請求項 7】 上記位相補償板は、上記入射光が入射する光入射面と、当該光入射面から入射した入射光が出射する光出射面とのうちの少なくとも一方が、光軸を中心として回転対称な曲面とされていることを特徴とする請求項 1 記載の対物レンズ。

【請求項 8】 上記位相補償板の光軸に垂直な面を基準面とし、上記位相補償板に入射する光線の傾角を  $\theta$  としたとき、

上記基準面から計った上記曲面の高さが、 $\sin \theta$  の多項式で表されることを特徴とする請求項 7 記載の対物レンズ。

【請求項 9】 記録及び／又は再生に使用する光の波長以下の間隔で記録媒体に対向するように支持されるソリッドイマージョンレンズと、

記録及び／又は再生に使用する光の光路中に配され、当該光の p 偏光成分と s 偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされた位相補償板とを備え、

上記ソリッドイマージョンレンズの端面からのエバネッセント光を用いて、記録媒体に対する記録及び／又は再生を行うとともに、上記位相補償板により、記録及び／

又は再生に使用する光の p 偏光成分と s 偏光成分との間に位相差を発生させることを特徴とする光学ヘッド。

【請求項 10】 記録及び／又は再生に使用する光を、上記ソリッドイマージョンレンズの記録媒体対向面上又はその近傍に集光させるレンズを備え、

上記位相補償板は、上記レンズと上記ソリッドイマージョンレンズの間の光路中に配されていることを特徴とする請求項 9 記載の光学ヘッド。

【請求項 11】 表面が曲面形状とされ、入射光の p 偏光成分と s 偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされた位相補償板の製造方法であって、

位相補償板材料上にレジスト層を形成し、上記レジスト層を、所望する位相補償板の面形状に対応するように露光強度分布を持たせた光又は電子線により露光し、

上記レジスト層を現像して、レジスト層の表面形状を、所望する位相補償板の面形状に対応した形状とし、

上記位相補償板材料を上記レジスト層とともにエッチングして、位相補償板材料の表面を所定の曲面形状とすることで、表面が曲面形状とされた位相補償板を製造することを特徴とする位相補償板の製造方法。

【請求項 12】 上記露光を電子線ビームにより行うとともに、当該電子線ビームの強度を変化させることで、上記レジスト層の露光時に露光強度分布を持たせることを特徴とする請求項 11 記載の位相補償板の製造方法。

【請求項 13】 光又は電子線の透過率に分布を持つグレースケールマスクを介して、光又は電子線をレジスト層に照射することで、上記レジスト層の露光時に露光強度分布を持たせることを特徴とする請求項 11 記載の位相補償板の製造方法。

【請求項 14】 上記位相補償板材料を、基板上に当該基板とは屈折率の異なる光学材料を堆積させて製造することを特徴とする請求項 11 記載の位相補償板の製造方法。

【請求項 15】 上記位相補償板材料を、互いに屈折率の異なる複数の光学材料を接合して製造することを特徴とする請求項 11 記載の位相補償板の製造方法。

【請求項 16】 上記光学材料のうちの少なくとも一つを、一軸性光学結晶を光学軸に対して垂直に切り出すことで作製することを特徴とする請求項 15 記載の位相補償板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、入射光の波長以下の間隔で物体に対向するように支持されるソリッドイマージョンレンズを備えた対物レンズに関する。また、そのような対物レンズを備えた光学ヘッドに関する。また、ソリッドイマージョンレンズを用いたときに生じる偏光状態の不均一性を補正するのに好適な位相補償板の

製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光を用いて記録再生が行われる記録媒体の高記録密度化を達成する手法として、ソリッドイマージョンレンズを用いてエバネッセント光を利用することで、回折限界以下の微小な記録ビットでの記録再生を可能とする手法が考案されている。

【0003】例えば図30に示すように、基板100の上に光磁気記録膜101が形成されてなる光磁気ディスク102の記録再生をソリッドイマージョンレンズ103を用いて行う際は、ソリッドイマージョンレンズ103に対する入射光束が、当該ソリッドイマージョンレンズ103のレンズ端面103a又はその近傍に焦点を結び、その大部分が当該レンズ端面103aで全反射されるようにする。

【0004】このとき、レンズ端面103aと光磁気ディスク102との間隔 $t_1$ を十分に狭めておけば、エバネッセント光の一部が光磁気ディスク102と結合してレンズ外に取り出され、当該エバネッセント光を利用した記録再生が可能となる。

【0005】なお、光磁気ディスク102の記録再生時には、光磁気ディスク102を高速に回転させるため、ソリッドイマージョンレンズ103と光磁気ディスク102との間には、若干の空隙が必要である。すなわち、光磁気ディスク102の記録再生時には、ソリッドイマージョンレンズ103と光磁気ディスク102との間に空気層104が存在することとなる。

【0006】しかし、ソリッドイマージョンレンズ103のレンズ端面103aから発生するエバネッセント光は、レンズ端面103aから離れるに従って指数関数的に減衰する。したがって、エバネッセント光が光磁気ディスク102に十分に結合するようにするために、ソリッドイマージョンレンズ103と光磁気ディスク102との間の空気層109の厚み（すなわちレンズ端面103aと光磁気ディスク102との間隔 $t_1$ ）は、記録再生に使用する光の波長以下、より好ましくは光の波長の $1/4$ 程度以下とすることが望まれる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】一般に、光磁気ディスクに記録されている信号を再生する際は、直線偏光のレーザ光を光磁気ディスクに照射する。このとき、光磁気ディスクの光磁気記録膜で反射されて戻ってくる戻り光の偏光状態は、光磁気記録膜固有の光学活性（極力効果）により、光磁気記録膜の磁化状態に応じて変化する。そこで、この戻り光の偏光状態を検出することで、光磁気ディスクに記録されている信号を再生する。

【0008】このように直線偏光のレーザ光を用いて光磁気ディスクからの信号再生を行うにあたって、上述のようにソリッドイマージョンレンズを用いると、エバネッセント光の発生過程で、p偏光成分とs偏光成分との

間に位相差が発生する。この位相差は、光磁気記録膜固有の光学活性（極力効果）による偏光状態の変化に影響するため、戻り光の偏光状態を検出することにより得られる光磁気信号に対する外乱の要因となる。以下、このような位相差について説明する。

【0009】図30に示したように、ソリッドイマージョンレンズを用いてエバネッセント光を発生させる際は、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面で入射光を全反射させる。このとき、全反射面からの反射光には、入射角に応じた振幅変化及び位相変化が生じる。なお、以下の説明では、この全反射のことをTIR (Total Internal Reflectionの略) と称する。

【0010】また、以下の説明では、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面と光磁気ディスクとを空気層を介して接近させた状態での全反射のことをFTIR (Frustrated Total Internal Reflectionの略) と称し、TIRと区別する。FTIRにおいても、反射光には入射角に応じた振幅変化及び位相変化が生じる。このFTIRにおける反射光の振幅変化及び位相変化は、TIRにおける反射光の振幅変化及び位相変化が、光磁気ディスクの介在で影響を受けたものである。

【0011】そこでまず、TIRにおける反射光の振幅変化及び位相変化について、図31を参照して特に位相変化について詳しく説明する。

【0012】図31は、TIRにおける反射光のp偏光成分の位相 $\phi_p$ 、s偏光成分の位相 $\phi_s$ 、並びにそれらの位相差 $\phi_p - \phi_s$ について、入射角依存性を示している。図31に示すように、TIRにおける反射光の位相は、p偏光成分及びs偏光成分ともに、入射角がブリュースター角に達するまでは一定である。なお、ここでは、このときの位相を $0^\circ$ と定義している。

【0013】そして、p偏光成分の位相 $\phi_p$ は、入射角がブリュースター角のときに $180^\circ$ 進み、以後、入射角が全反射角に達するまで一定である。その後、入射角が全反射角を越えると、p偏光成分の位相は次第に遅れる。一方、s偏光成分の位相 $\phi_s$ は、入射角が全反射角に達するまで一定であり、入射角が全反射角を越えると遅れるようになる。

【0014】したがって、TIRにおける反射光の位相差 $\phi_p - \phi_s$ は、入射角がブリュースター角に達するまでは $0^\circ$ 、入射角がブリュースター角のときには $-180^\circ$ 、その後、入射角が全反射角を越えるまでは一定で、入射角が全反射角を越えると、はじめ減少したのち増加する。

【0015】つぎに、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面に光磁気ディスクを近接させたときの全反射であるFTIRについて説明する。なお、通常、光磁気ディスクの構造には、吸収を伴う金属反射膜が含まれるので、厳密には、この全反射は、Attenuated Total Internal Reflection と称するべきであるが、ここで着目してい

るのはあくまでも光学活性を有する光磁気記録膜が全反射に及ぼす影響であるので、ここではFTIR (Frustrated Total Internal Reflection) と称している。

【0016】光学活性を有する光磁気記録膜が全反射に及ぼす影響を調べるには、光電磁界のベクトル場解析が有用であり、その詳細な解析結果がアリゾナ大学 Mansuripur から OSA 刊行の Optics and Photonics News, Oct. 1998 に報告されている。

【0017】これによれば、一般に垂直磁化をもった光磁気記録膜に x 方向に偏光したレーザ光を入射させる。と、その反射光には、入射レーザ光の偏光方向に対して直交する y 方向の偏光成分（以下、直交偏光成分と称する。）が含まれる。このとき、レーザ光の集光に用いる対物レンズが、ソリッドイマージョンレンズを使用していないタイプの対物レンズならば（すなわち、エバネッセント光を利用するタイプの対物レンズでないならば）、上記直交偏光成分の位相が、入射角によって顕著に変化するようなことはない。したがって、反射光に含まれる直交偏光成分の対物レンズ出射瞳上での位相の分布は、ほぼ一様である。

【0018】なお、光磁気記録膜の垂直磁化の向きが反転すると、直交偏光成分の位相が  $180^\circ$  シフトする。この位相変化を偏光プリズム等を用いて分離し検出することで、ドメイン単位の磁化の反転を検出することができる。これが、光磁気ディスクの信号再生の基本原理解である。そして、反射光に含まれる直交偏光成分の対物レンズ出射瞳上での位相の分布が一様であるならば、直交偏光成分の位相変化を偏光プリズム等を用いて分離し検出することは容易に可能である。

【0019】一方、ソリッドイマージョンレンズを用いてエバネッセント光で光磁気ディスクの再生を行おうとした場合、前述の Mansuripur によれば、反射光の偏光状態が入射角によって変化して、対物レンズ出射瞳上での分布が一様でなくなる。すなわち、ソリッドイマージョンレンズを用いた場合は、反射光の偏光状態が対物レンズ出射瞳上で不均一なものとなる。この場合も、光磁気記録膜の垂直磁化の向きが反転すると、直交偏光成分の位相は全体としては  $180^\circ$  シフトする。しかし、不均一な偏光状態のもとでは、反射光の直交偏光成分の位相変化を偏光プリズム等を用いて分離し検出することは困難である。

【0020】ここで、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面に光磁気ディスクを近接させた状態で、直線偏光のレーザ光をソリッドイマージョンレンズに入射したときに、当該レーザ光がソリッドイマージョンレンズのレンズ端面で全反射されて戻ってくる戻り光について、その対物レンズ出射瞳上における分布を計算した結果を図32乃至図35に示す。

【0021】ただし、ここでは、ソリッドイマージョンレンズの屈折率  $n=2$ 、レーザ光の波長  $\lambda=633\text{nm}$

m、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面と光磁気記録膜との間の空気層の厚さ  $t_i=100\text{nm}$  とし、開口数  $NA=1.6$  に相当する入射角  $53^\circ$  まで計算している。

【0022】図32は、戻り光の楕円率の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図32において、最濃色部の黒い部分は、楕円率  $=0^\circ$ 、最淡色部の白い部分は、楕円率  $=45^\circ$  である。

【0023】図33は、戻り光の偏光面の回転角の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図33において、最濃色部の黒い部分は、偏光面の回転角  $=-89^\circ$ 、最淡色部の白い部分は、偏光面の回転角  $=89^\circ$  である。

【0024】図34は、戻り光の直交偏光成分の強度の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図34において、最濃色部の黒い部分は、直交偏光成分の相対強度  $E_x^2=0$ 、最淡色部の白い部分は直交偏光成分の相対強度  $E_x^2=0.65$  である。

【0025】図35は、戻り光の直交偏光成分の強度のうち、純粋に光磁気記録膜の光学活性によって発生した直交偏光成分の強度について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示している。

【0026】図32乃至図35からも分かるように、ソリッドイマージョンレンズを用いた場合、戻り光の偏光状態は、対物レンズ出射瞳上において一様ではなく、不均一なものとなっている。

【0027】対物レンズ出射瞳上における偏光状態の不均一さの程度は、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面と光磁気記録膜との間の空気層の厚さや、ソリッドイマージョンレンズに入射する光の入射角の最大値（入射角の最大値は通常は開口数で規定される。）などに依存する。

【0028】したがって、戻り光の偏光状態の分布を極力均一化しようとする、空気層の厚さや開口数などに制限が生じ、非常に厳しい制約を受けることとなる。そして、このような制約が、ソリッドイマージョンレンズの実用化を図る上で大きな障害となっている。換言すれば、空気層の厚さや開口数などを厳しく制約することなく、反射光の偏光状態の分布を均一化することが、ソリッドイマージョンレンズを実用化する上で、解決しなければならない課題となっている。

【0029】本発明は、以上のような従来の実情に鑑みて提案されたものであり、ソリッドイマージョンレンズを採用しつつ、当該ソリッドイマージョンレンズにおける全反射に起因する戻り光の偏光状態の不均一性を解消した対物レンズを提供することを目的としている。また、本発明は、ソリッドイマージョンレンズを採用しつつ、当該ソリッドイマージョンレンズにおける全反射に起因する戻り光の偏光状態の不均一性を解消した光学ヘッドを提供することも目的としている。また、本発明

は、ソリッドイマージョンレンズを用いたときに生じる偏光状態の不均一性を補正するのに好適な位相補償板の製造方法を提供することも目的としている。

【0030】

【課題を解決するための手段】本発明に係る対物レンズは、入射光を収束光とするレンズと、上記レンズによって収束光とされた入射光の光路中に配された位相補償板と、上記位相補償板を通過してきた入射光が入射するようになされており当該入射光の波長以下の間隔で物体に10 対向するように支持されるソリッドイマージョンレンズとを備える。この対物レンズにおいて、上記位相補償板は、入射光のp偏光成分とs偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされる。

【0031】以上のような本発明に係る対物レンズでは、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面で全反射されて戻ってきた戻り光の偏光状態の分布を、位相補償板により均一化することができる。

【0032】また、本発明に係る光学ヘッドは、記録及び／又は再生に使用する光の波長以下の間隔で記録媒体20 に対向するように支持されるソリッドイマージョンレンズと、記録及び／又は再生に使用する光の光路中に配された位相補償板とを備える。ここで、位相補償板は、記録及び／又は再生に使用する光のp偏光成分とs偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされる。

【0033】そして、この光学ヘッドでは、ソリッドイマージョンレンズの端面からのエバネッセント光を用いて、記録媒体に対する記録及び／又は再生を行うとともに、30 位相補償板により、記録及び／又は再生に使用する光のp偏光成分とs偏光成分との間に位相差を発生させる。

【0034】以上のような本発明に係る光学ヘッドでは、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面で全反射されて戻ってきた戻り光の偏光状態の分布を、位相補償板により均一化することができる。

【0035】また、本発明に係る位相補償板の製造方法において、製造の対象となる位相補償板は、表面が曲面形状とされ、入射光のp偏光成分とs偏光成分との間に40 位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされたものである。そして、本発明に係る位相補償板の製造方法では、先ず、位相補償板材料上にレジスト層を形成する。次に、上記レジスト層を、所望する位相補償板の面形状に対応するように露光強度分布を持たせた光又は電子線により露光する。次に、上記レジスト層を現像して、レジスト層の表面形状を、所望する位相補償板の面形状に対応した形状とする。そして、上記位相補償板材料を上記レジスト層とともにエッチングして、位相補償板材料の表面50

を所定の曲面形状とすることで、表面が曲面形状とされた位相補償板を製造する。

【0036】以上のような本発明に係る位相補償板の製造方法によれば、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面で全反射されて戻ってきた戻り光の偏光状態の分布を均一化するのに好適な位相補償板を容易に且つ精度良く製造することができる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0038】＜対物レンズ＞本発明を適用した対物レンズの一構成例を図1に示す。この対物レンズ1は、基板2の上に光磁気記録膜3が形成されてなる光磁気ディスク4に対して記録再生を行う光学ヘッド用の対物レンズであり、レンズ5と、位相補償板6と、ソリッドイマージョンレンズ7とを備える。

【0039】この対物レンズ1を用いるときは、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aを光磁気ディスク4に近接させ、当該レンズ端面7aと光磁気ディスク4との間に存在する空気層の厚さtを、対物レンズ1に入射する光の波長以下とする。

【0040】なお、空気層の厚さtを対物レンズ1に入射する光の波長以下とすることは、例えば、磁気ディスクにおいて使用されているフライングヘッドの技術を用いることで実現可能である。すなわち、浮上型スライダに対物レンズ1を搭載してフライングヘッドを構成し、光磁気ディスク4を高速で回転させる。このとき、フライングヘッドと光磁気ディスク4との間に流れる空気流により、フライングヘッドが僅かに浮上する。そして、この浮上量が対物レンズ1に入射する光の波長以下となるようにしておけば、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aと光磁気ディスク4との間に存在する空気層の厚さtを、対物レンズ1に入射する光の波長以下とすることができる。

【0041】そして、この対物レンズ1を用いるときは、このようにソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aを光磁気ディスク4に近接させた状態で、直線偏光平行光束のレーザ光Lをレンズ5に入射する。この入射レーザ光Lは、レンズ5によって収束光とされた上で、位相補償板6を介して、ソリッドイマージョンレンズ7に入射する。

【0042】ここで、ソリッドイマージョンレンズ7は、光入射面7bが半球状の曲面とされており、光磁気ディスク4に対向する側のレンズ端面7aが平面とされている。そして、入射レーザ光Lは、ほぼ半球状の曲面とされたソリッドイマージョンレンズ7の光入射面7bに対してほぼ垂直に入射し、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7a又はその近傍に焦点を結び、その大部分が当該レンズ端面7aで全反射される。

【0043】ここで、ソリッドイマージョンレンズ7

は、レンズ端面7aが光磁気ディスク4に近接するように配置されている。したがって、レンズ端面7aから発生するエバネッセント光の一部が光磁気ディスク4と結合してレンズ外に取り出され、光磁気ディスク4の光磁気記録膜3の影響を受けることとなる。その結果、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで全反射されて戻ってくる戻り光には、光磁気ディスク4の光磁気記録膜3の光学活性（極カー効果）に起因する直交偏光成分が含まれることとなる。

【0044】この戻り光は、入射レーザ光Lとは逆の経路を辿り、ソリッドイマージョンレンズ7、位相補償板6及びレンズ5をこの順に通過して、対物レンズ1から出射する。そして、この戻り光の偏光状態を検出することで、光磁気ディスク4に記録されている信号が再生される。

【0045】具体的には、光磁気記録膜3の垂直磁化の向きが反転すると、戻り光に含まれる直交偏光成分の位相が180°シフトするので、この位相変化を、例えば偏光プリズムを用いて分離し、光検出器で検出する。このように戻り光に含まれる直交偏光成分の位相変化を検出した信号が光磁気信号である。そして、この光磁気信号により、光磁気記録膜3のドメイン単位の磁化の反転が検出され、これにより、光磁気ディスク4に記録されている信号が再生される。

【0046】上記対物レンズ1において、レンズ5によって収束光とされた入射レーザ光Lの光路中に配された位相補償板6は、当該位相補償板6に入射した光のp偏光成分とs偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされている。そして、上記対物レンズ1では、このような位相補償板6を用いることで、戻り光の偏光状態の分布の均一化を図っている。

【0047】この位相補償板6の一例を図2に示す。図2に示す位相補償板6は、入射レーザ光Lの波長に比べて十分に厚い基板8の上に、当該基板8よりも屈折率が低い光学部材9が配されてなり、且つ当該光学部材9の基板8に接していない方の面9aが非平面とされている。なお、この位相補償板6は、入射レーザ光Lの波長域において、十分に高い透過率を持つことが好ましい。

【0048】この位相補償板6において、基板8の材料は、屈折率が高いものが好ましく、例えば二オプ酸リチウム ( $n_o=2.287$ ,  $n_e=2.203$ ) が好適である。一方、基板8の上に配する光学部材9は、基板8に比べて屈折率が小さいものが好ましい。また、この光学部材9は、光学的に均一な光学材料、又は一軸性光学結晶が好適である。

【0049】具体的には、光学部材9の材料として好適な、屈折率が小さく光学的に均一な光学材料としては、例えば弗化マグネシウム ( $n=1.38$ ) が挙げられる。また、光学部材9の材料として好適な、屈折率が小さな

軸性光学結晶としては、例えば水晶が挙げられる。なお、この光学部材9として、一軸性光学結晶を用いる場合は、その光学軸をソリッドイマージョンレンズ7の光軸に対して平行に配置することが望ましい。

【0050】この位相補償板6は、図1に示したように、レンズ5とソリッドイマージョンレンズ7との間に配される。したがって、この位相補償板6には、入射レーザ光Lの往路において、レンズ5によって収束光とされた入射レーザ光が入射するとともに、当該入射レーザ光がソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで全反射されて戻ってくる復路において、発散光となって戻ってきた戻り光が入射する。

【0051】この位相補償板6は、当該位相補償板6に入射した光のp偏光成分とs偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされている。したがって、上述のように位相補償板6に入射する入射レーザ光及び戻り光は、位相補償板6を通過するときに、当該位相補償板6を通過する光線の傾角によって異なる位相差を受けることとなる。

【0052】そして、上記対物レンズ1では、このような位相差を位相補償板6によって発生させることで、戻り光の偏光状態の分布の均一化を図っている。すなわち、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで入射レーザ光Lを全反射させたとき、全反射面からの反射光には入射角に応じた位相変化が生じるが、上記対物レンズ1では、このような位相変化を位相補償板6によって打ち消すことで、戻り光の偏光状態の分布が均一になるようにしている。

【0053】ところで、光磁気ディスク4に記録されている信号を再生する際は、上述したように、例えば偏光プリズムと光検出器を用いて、戻り光に含まれる直交偏光成分の強度を検出する。このように直交偏光成分の強度を検出するとき、

$$E_r = E_{r0} + \Delta E_r$$

であるから、光の周波数で時間平均をとると、

$$\langle I \rangle = \langle I_{r0} \rangle + \langle \Delta I_r \rangle + |E_{r0} \Delta E_r| \cos\{\phi_{r0} - \phi_{\Delta r}\}$$

となる。なお、上記式の右辺の最初2項は直流バイアス成分を表しており、第3項は光磁気信号を表している。上記式より、 $\phi_{r0}$ と $\phi_{\Delta r}$ が一樣なほど高い変調度の光磁気信号が得られることが分かる。

【0054】そして、上記対物レンズ1において、位相補償板6は、当該位相補償板6に入射した光のp偏光成分とs偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、位相補償板6を通過する光線の傾角によって異なるようになされている。換言すれば、位相補償板6は、収束光や発散光が入射されたとき、その入射角に応じて異なる位相差を与える。したがって、位相補償板6には、上記式右辺第3項の余弦の偏角に含まれる不



均一性を均一化する効果がある。したがって、位相補償板6を用いることで、光磁気信号の変調度を高めることが可能となる。

【0055】つぎに、比較例として位相補償板6を用いていない対物レンズについて説明し、その後、位相補償板6を用いた本発明に係る対物レンズ1の具体的な実施例について説明する。なお、以下に説明する比較例及び実施例では、ソリッドイマージョンレンズ7に入射する入射レーザ光の入射角を約40°までに制限し、ソリッドイマージョンレンズ7の有効開口数を1.3とした。

【0056】＜比較例＞まず、対象となる光磁気ディスク4の構成を図3に示す。図3に示すように、光磁気ディスク4は、基板2の上に光磁気記録膜3が形成される。ここで、光磁気記録膜3は、光反射膜10と、第1の誘電体膜11と、磁性膜12と、第2の誘電体膜13とがこの順に積層形成された多層膜からなる。

【0057】ここで、光反射膜10は、複素屈折率  $(n, k) = (1.4, 7.6)$  のAlからなり、膜厚が2.5 nmであるとした。第1の誘電体膜11は、屈折率  $n = 2.0$  のSiNからなり、膜厚が30 nmであるとした。第2の誘電体膜13は、屈折率  $n = 2.0$  のSiNからなり、膜厚が100 nmであるとした。また、磁性膜12は、膜厚が25 nmであるとし、当該磁性膜12の磁化方向によって下記式(1-1)又は(1-2)で表される誘電体テンソルの各成分が、 $\epsilon = -8 + 27i$ ,  $\epsilon' = 0.6 - 0.2i$  であるとした。

【0058】

〔数1〕

$$\begin{pmatrix} \epsilon & -\epsilon' & 0 \\ \epsilon' & \epsilon & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon \end{pmatrix} \cdots (1-1)$$

$$\begin{pmatrix} \epsilon & \epsilon' & 0 \\ -\epsilon' & \epsilon & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon \end{pmatrix} \cdots (1-2)$$

【0059】このような条件において、図1に示した対物レンズ1から位相補償板6を除いた場合について、光磁気ディスク4とソリッドイマージョンレンズ7との間の空気層の厚さtと、光磁気信号の変調度との関係を調べた。結果を図4に示す。

【0060】図4に示すように、位相補償板6が無い場合、光磁気信号の変調度は、空気層の厚さtが25 nm付近のときに極大となる。そして、空気層の厚さtが厚くなると、光磁気信号の変調度は減少し、例えば、空気層の厚さtが100 nmの場合、当該変調度は6%以下にまで減少してしまう。これは、空気層の影響により、戻り光の偏光状態の分布に不均一性が生じるためである。

【0061】ところで、上記対物レンズ1において、空気層の厚さtを対物レンズ1に入射する光の波長以下とすることは、上述したように、磁気ディスクにおいて使用されているフライングヘッドの技術を流用することで実現可能である。しかしながら、フライングヘッドの技術を流用したとしても、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aと光磁気ディスク4とをあまりに近づけて保持することは困難である。

【0062】例えば、空気層の厚さtが100 nmならば、その厚さを一定に保持することは比較的容易であるが、空気層の厚さtを25 nmとして、その厚さを一定に保持することは、プラスチック等からなる基板2の平坦性等を考慮すると、非常に困難である。すなわち、位相補償板6が無い場合、空気層の厚さtを約25 nmとすれば、光磁気信号については高い変調度が得られるが、この状態で対物レンズ1を安定に支持して使用することは非常に困難である。一方、空気層の厚さtを100 nmとすれば、対物レンズ1を安定に支持して使用することは容易であるが、この場合は、光磁気信号の変調度が大幅に減少してしまう。

【0063】＜実施例1＞本実施例では、図1に示した対物レンズ1のように、入射レーザ光Lを収束光とするレンズ5と、ソリッドイマージョンレンズ7との間に位相補償板6を配置した。なお、対象となる光磁気ディスク4には、上述の比較例と同様のものを使用した。また、本実施例では、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aと光磁気ディスク4との間の空気層の厚さt=100 nmとした。

【0064】本実施例で用いた位相補償板6は、図2に示したように、入射レーザ光Lの波長に比べて十分に厚い基板8に、一方の面が曲面とされた光学部材9が接合されてなる。この基板8は、屈折率  $n = 2$  で光学的に一樣な光学材料を平行平板状に加工したものである。なお、この位相補償板6の前段に配置されるレンズ5は、位相補償板6を光線が通過するときには発生する球面収差を十分に補正するように設計しておいた。

【0065】一方、基板8に接合された光学部材9には、一軸性光学結晶である水晶を使用した。このとき、光学部材の屈折率  $n = 1.5$ 、複屈折量  $= 0.0088$  である。また、一軸性光学結晶からなる光学部材9は、その光学軸がソリッドイマージョンレンズ7の光軸に対して平行となるようにした。そして、この光学部材9の一方の面を平面として基板8に接合し、他方の面9a(以下、ソリッドイマージョンレンズ対向面9aと称する。)を曲面とした。

【0066】本実施例において、位相補償板6のソリッドイマージョンレンズ対向面9aは、光軸を中心とした回転対称の曲面とし、位相補償板6を構成する光学部材9に入射する光線の傾角を $\theta$ としたとき、基準面からの高さZが下記式(2-1)で表されるような面形状とし

た。すなわち、光学部材 9 の空気に接する側の端面形状は、着目する光線の入射角が  $\theta$  のとき、下記式 (2 -

$$Z=225-174\sin\theta-107.173\sin^2\theta+1574.94\sin^4\theta \quad \dots (2-1)$$

なお、ここでは、位相補償板 6 の光軸に垂直な面のうち、光学部材 9 に接している基板 8 の表面を基準面としている。また、上記式 (2-1) において、各係数の単位は nm であり、 $\tan\theta$  は相対瞳半径を意味している。

【0068】また、図 5 に、上記式 (2-1) で表されるソリッドイマージョンレンズ対向面 9 a の面形状をプロットした図を示す。図 5 において、横軸は相対瞳半径 10 を示しており、縦軸は基準面 (すなわち基板 8 の表面) からのソリッドイマージョンレンズ対向面 9 a の高さ (サグ) を示している。

【0069】このような位相補償板 6 を用いた場合、ソリッドイマージョンレンズ 7 のレンズ端面 7 a で全反射されて戻ってくる戻り光の対物レンズ出射瞳上における分布を計算した結果を図 6 乃至図 8 に示す。

【0070】図 6 は、戻り光の楕円率の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図 6 において、最濃色部の黒い部分は、楕円率 =  $0^\circ$ 、最淡色部の白い部分 20 は、楕円率 =  $35.6^\circ$  である。

【0071】図 7 は、戻り光の偏光面の回転角の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図 7 において、最濃色部の黒い部分は、偏光面の回転角 =  $-6^\circ$ 、最淡色部の白い部分は、偏光面の回転角 =  $37.4^\circ$  である。

【0072】図 8 は、戻り光の直交偏光成分の強度の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図 8 において、最濃色部の黒い部分は、直交偏光成分の相対強度  $E_z^2=0$ 、最淡色部の白い部分は直交偏光成分の相対 30

$$Z=245-189\sin\theta-114.088\sin^2\theta+1488.38\sin^4\theta \quad \dots (2-2)$$

なお、ここでは、実施例 1 と同様、位相補償板 6 の光軸に垂直な面のうち、光学部材 9 に接している基板 8 の表面を基準面としている。また、上記式 (2-2) において、各係数の単位は nm であり、 $\tan\theta$  は相対瞳半径を意味している。

【0078】図 9 に、上記式 (2-2) で表されるソリッドイマージョンレンズ対向面 9 a の面形状をプロットした図を示す。図 9 において、横軸は相対瞳半径を示しており、縦軸は基準面 (すなわち基板 8 の表面) からの 40 ソリッドイマージョンレンズ対向面 9 a の高さ (サグ) を示している。

【0079】このような位相補償板 6 を用いた場合、ソリッドイマージョンレンズ 7 のレンズ端面 7 a で全反射されて戻ってくる戻り光の対物レンズ出射瞳上における分布を計算した結果を図 10 及び図 11 に示す。

【0080】図 10 は、戻り光の楕円率の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図 10 において、最濃色部の黒い部分は、楕円率 =  $0^\circ$ 、最淡色部の白い部分は、楕円率 =  $37^\circ$  である。また、図 11 は、戻り 50

1) で表される  $\sin\theta$  の多項式の形となっている。

【0067】

強度  $E_z^2=0.13$  である。

【0073】図 6 乃至図 8 と、位相補償板を用いていない場合の偏光状態の分布を示した図 3 2 乃至図 3 4 との比較から、位相補償板 6 を用いた本実施例では、ソリッドイマージョンレンズ 7 のレンズ端面 7 a で全反射されて戻ってくる戻り光の対物レンズ出射瞳上における偏光状態の分布が均一化されていることが分かる。

【0074】また、本実施例では、光磁気信号の変調度が約 10% となった。これは、図 4 から分かるように、位相補償板 6 が無い場合において空気層の厚さ  $t$  を 7.5 nm としたときの変調度よりも良い値である。すなわち、位相補償板 6 を用いた本実施例では、空気層の厚さ  $t$  を 100 nm としても、約 10% と比較的に高い変調度の光磁気信号を得ることが可能となっている。

【0075】＜実施例 2＞本実施例では、実施例 1 と同様に、入射レーザ光 L を収束光とするレンズ 5 と、ソリッドイマージョンレンズ 7 との間に位相補償板 6 を配置した。

【0076】そして、本実施例では、位相補償板 6 のソリッドイマージョンレンズ対向面 9 a の面形状を、光軸を中心とした回転対称の曲面とし、位相補償板 6 を構成する光学部材 9 に入射する光線の傾角を  $\theta$  としたとき、基準面からの高さ  $Z$  が下記式 (2-2) で表されるような面形状とした。その他の条件は実施例 1 と同様とした。

【0077】

光の偏光面の回転角の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図 11 において、最濃色部の黒い部分は、偏光面の回転角 =  $-6.8^\circ$ 、最淡色部の白い部分は、偏光面の回転角 =  $39.5^\circ$  である。

【0081】図 10 及び図 11 と、位相補償板を用いていない場合の偏光状態の分布を示した図 3 2 及び図 3 3 との比較から、位相補償板 6 を用いた本実施例では、ソリッドイマージョンレンズ 7 のレンズ端面 7 a で全反射されて戻ってくる戻り光の対物レンズ出射瞳上における偏光状態の分布が均一化されていることが分かる。

【0082】また、本実施例では、光磁気信号の変調度が 10% 以上となった。これは、図 4 から分かるように、位相補償板 6 が無い場合において空気層の厚さ  $t$  を 7.5 nm としたときの変調度よりも良い値である。すなわち、位相補償板 6 を用いた本実施例では、空気層の厚さ  $t$  を 100 nm としても、10% 以上と比較的に高い変調度の光磁気信号を得ることが可能となっている。

【0083】＜実施例 3＞図 3 に示した光磁気ディスク 4 の光磁気記録膜 3 の構成の中で、屈折率  $n=2$  の第 2

の誘電体膜13（すなわち最上層の薄膜）の膜厚を、100nmから変化させ、その他については、実施例1と同様とした。そして、光磁気信号の変調度について、第2の誘電体膜13の膜厚に対する依存性を調べた。結果を図12に示す。

【0084】図12に示すように、第2の誘電体膜13の膜厚によって、光磁気信号の変調度が変化する。特に、第2の誘電体膜13の膜厚が92.5nmのときには、第2の誘電体膜13の膜厚が100nmのときに比べて、光磁気信号の変調度が約20%も改善され、光磁気信号の変調度は約12%になった。

【0085】また、第2の誘電体膜13の膜厚を92.5nmとしたとき、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで全反射されて戻ってくる戻り光の対物レンズ出射瞳上における楕円率の分布を計算した結果を図13に示す。なお、図13は、戻り光の楕円率の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図13において、最濃色部の黒い部分は、楕円率=0°、最淡色部の白い部分は、楕円率=28.5°である。

【0086】図13から分かるように、位相補償板6を使用し、且つ第2の誘電体膜13の膜厚を最適化することで、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで全反射されて戻ってくる戻り光の偏光状態の分布は非常に均一なものとなる。その結果、空気層の厚さtを100nm程度確保しつつ、約12%と非常に高い変調度の光磁気信号を得ることが可能となる。

【0087】＜実施例4＞位相補償板6を構成する光学部材9として、一軸性光学結晶の代わりに、屈折率n=1.5の光学的に均一な光学材料を用いた。また、位相補償板6のソリッドイマージョンレンズ対向面9aの面形状は、実施例2と同様とした。また、図3に示した光磁気ディスク4の光磁気記録膜3の構成の中で、屈折率n=2の第2の誘電体膜13（すなわち最上層の薄膜）の膜厚を92.5nmとした。その他の条件は、実施例2と同様とした。

【0088】このような条件において、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで全反射されて戻ってくる戻り光の対物レンズ出射瞳上における楕円率の分布を計算した結果を図14に示す。なお、図14は、戻り光の楕円率の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図14において、最濃色部の黒い部分は、楕円率=0°、最淡色部の白い部分は、楕円率=28.3°である。

【0089】図14から分かるように、光学的に均一な光学材料だけからなる位相補償板6を使用した場合も、

$$Z=281.75-164.43\sin\theta-74.1571\sin^2\theta+1860.48\sin^3\theta \cdots (2-3)$$

なお、ここでは、実施例1と同様、位相補償板6の光軸に垂直な面のうち、光学部材9に接している基板8の表面を基準面としている。また、上記式(2-3)において、各係数の単位はnmであり、tanθは対物レンズ半径を

ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで全反射されて戻ってくる戻り光の偏光状態の分布は、かなり均一なものとなる。そして、このときの光磁気信号の変調度は、約11.4%であった。すなわち、光学的に均一な光学材料だけからなる位相補償板6を使用した場合も、第2の誘電体膜13の膜厚を最適化しておけば、約11.4%と非常に高い変調度の光磁気信号を得ることが可能となる。

【0090】＜実施例5＞本実施例では、実施例1乃至4と同様に、入射レーザー光Lを収束光とするレンズ5と、ソリッドイマージョンレンズ7との間に位相補償板6を配置した。なお、対象となる光磁気ディスク4には、実施例4と同様に、第2の誘電体膜13の膜厚を92.5nmとしたものを使用した。また、本実施例では、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aと光磁気ディスク4との間の空気層の厚さt=100nmとした。

【0091】本実施例で用いた位相補償板6は、図2に示したように、入射レーザー光Lの波長に比べて十分に厚い基板8の上に、一方の面が曲面とされた光学部材9が配されてなる。

【0092】そして、本実施例では、基板8として、屈折率n=2で光学的に均一な光学材料を平行平板状に加工したものを用いた。なお、この位相補償板6の前段に配置されるレンズ5は、位相補償板6を光線が通過するときに発生する球面収差を十分に補正するように設計しておいた。

【0093】一方、基板8の上に配される光学部材9には、低屈折率で光学的に均一な光学材料である弗化マグネシウムを用いた。このとき、光学部材の屈折率n=1.38である。そして、この光学部材9の一方の面を平面とし、ソリッドイマージョンレンズ対向面9aを曲面とした。

【0094】なお、本実施例では、このような位相補償板6を、基板8の上に弗化マグネシウムを堆積させ、その後、その表面をエッチングして以下に示すような曲面形状とすることで作製した。

【0095】本実施例において、位相補償板6のソリッドイマージョンレンズ対向面9aは、光軸を中心とした回転対称の曲面とし、位相補償板6を構成する光学部材9に入射する光線の傾角をθとしたとき、基準面からの高さZが下記式(2-3)で表されるような面形状とした。

【0096】

意味している。

【0097】また、図15に、上記式(2-3)で表されるソリッドイマージョンレンズ対向面9aの面形状をプロットした図を示す。図15において、横軸は対物

半径を示しており、縦軸は基準面からのソリッドイマージョンレンズ対向面9aの高さ(サグ)を示している。

【0098】このような位相補償板6を用いた場合、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで全反射されて戻ってくる戻り光の対物レンズ出射瞳上における分布を計算した結果を図16乃至図18に示す。

【0099】図16は、戻り光の楕円率の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図16において、最濃色部の黒い部分は、楕円率 $=0^\circ$ 、最淡色部の白い部分は、楕円率 $=39.6^\circ$ である。

【0100】図17は、戻り光の偏光面の回転角の対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図17において、最濃色部の黒い部分は、偏光面の回転角 $=-9^\circ$ 、最淡色部の白い部分は、偏光面の回転角 $=47.5^\circ$ である。

【0101】図18は、戻り光の直交偏光成分の強度について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示しており、図18において、最濃色部の黒い部分は、直交偏光成分の相対強度 $E_z^2=0.09$ 、最淡色部の白い部分は直交偏光成分の相対強度 $E_z^2=0$ である。

【0102】図16乃至図18と、位相補償板を用いていない場合の偏光状態の分布を示した図32乃至図34との比較から、位相補償板6を用いた本実施例では、ソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aで全反射されて戻ってくる戻り光の対物レンズ出射瞳上における偏光状態の分布が、非常に均一化されていることが分かる。

【0103】そして、本実施例では、光磁気信号の変調度が約12.3%となった。これは、図4からも分かるように、位相補償板6が無い場合において空気層の厚さ $t$ を50nmとしたときの変調度に近い値である。すなわち、位相補償板6を用い、且つ第2の誘電体膜13の膜厚を最適化した本実施例では、空気層の厚さ $t$ を100nmとしても、約12.3%と非常に高い変調度の光磁気信号を得ることが可能となっている。

【0104】＜位相補償板を構成する光学部材で発生する球面収差について＞上記位相補償板6を構成する光学部材9は、上記実施例のように、数100nm程度の厚さとするのが好ましい。このとき、対物レンズ1の開口数があまり大きくなければ、この光学部材9で発生する球面収差は無視できる。しかし、対物レンズ1の開口数が大きくなると、位相補償板6を構成している基板8で発生する球面収差の他に、数100nm程度の厚さであっても、光学部材9で発生する球面収差も無視できなくなる。以下、この光学部材9で発生する球面収差について説明する。

【0105】位相補償板9を配置する位置をソリッドイマージョンレンズ7のレンズ端面7aから計り、その長さを光学長に換算した値を $f$ とすると、傾角 $\theta$ で位相補償板6に入射する光線は、光軸から $r=f \cdot \tan \theta$ だ

け離れた点を通る。ここで、位相補償板6を構成する光学部材9の厚さが数100nm程度であり、 $f=1$ mm程度であれば、光学部材9の厚み変化に対応する面の勾配は、ほぼ無視できる。

【0106】したがって、位相補償板6を構成する光学部材9の屈折率を $n'$ としたとき、当該光学部材9の内部における光線の傾角 $\theta'$ は、屈折の法則から、 $\sin \theta = n' \sin \theta'$ をほぼ満たすことになる。一方、半径 $r$ の点における光学部材9の厚さを $t(r)$ としたとき、着目する光線の光学部材9の内部における光路差(OPD)は、 $n' \cdot t(r) / \cos \theta'$ で表される。

【0107】したがって、例えば、光学部材9の屈折率 $n'=1.38$ 、対物レンズ1の開口数 $NA=1.3$ のとき、波長633nmを単位にして表すと、光学部材9の内部において生じる光路差は、最大で0.85波長となる。そして、この程度の球面収差は、位相補償板6の前段に配置されるレンズ5を非球面レンズ化すれば、位相補償板6を構成する基板8で発生する球面収差と同様、容易に補正できる。

【0108】すなわち、対物レンズ1の開口数が大きく、位相補償板6を構成する光学部材9で発生する球面収差を無視できない場合には、位相補償板6を構成する基板8で発生する球面収差、並びに位相補償板6を構成する光学部材9で発生する球面収差を、位相補償板6の前段に配置されるレンズ5を非球面レンズ化して補正することが好ましい。

【0109】＜位相補償板の製造方法＞つぎに、上記対物レンズ1で使用される位相補償板6の製造方法について、第1の例を図19乃至図23を参照して説明するとともに、第2の例を図24乃至図27を参照して説明する。

【0110】位相補償板6を製造する際は、まず、図19に示すように、基板21の上に光学材料22が配された位相補償板材料23を作製する。この位相補償板材料23は、例えば、平板状の基板21の上に当該基板21とは屈折率の異なる光学材料22を堆積させたり、或いは、互いに屈折率の異なる基板21と光学材料22とを接合したりすることで作製する。

【0111】なお、互いに屈折率の異なる基板21と光学材料22を接合して位相補償板材料23とするときは、例えば、一軸性光学結晶を光学軸に対して垂直に切り出して、一軸性光学結晶の薄片を作製し、当該薄片を光学材料22として基板21に接合することで、位相補償板材料23とする。

【0112】次に、図20に示すように、基板21の上に光学材料22が配されてなる位相補償板材料23の上にレジスト層24を形成し、当該レジスト層24を、所望する位相補償板6の面形状に対応するように露光強度分布を持たせた電子線ビームにより露光する。このとき、レジスト層24の露光は、露光用の電子線ビームの

10

20

30

40

50

強度を、所望する位相補償板 6 の面形状に対応するように変化させながら、当該電子線ビームをレジスト層 24 に直接照射して行う。

【0113】次に、図 21 に示すように、レジスト層 24 を現像して、当該レジスト層 24 の表面形状を、所望する位相補償板 6 の面形状に対応した形状とする。なお、本例においては、図 20 に示したように、レジスト層 24 の露光を、所望する位相補償板 6 の面形状に対応するように電子線ビームの強度を変化させながら、当該電子線ビームをレジスト層 24 に直接照射することで行っているため、現像されたレジスト層 24 の表面形状は、所望する位相補償板 6 の面形状に対応した曲面形状となる。

【0114】次に、図 22 に示すように、位相補償板材料 23 を構成している光学材料 22 をレジスト層 24 とともにエッチングして、位相補償板材料 23 の表面を所定の曲面形状とする。このとき、位相補償板材料 23 を構成している光学材料 22 のエッチングレートと、レジスト層 24 のエッチングレートとをほぼ等しくしておけば、レジスト層 24 の表面形状が、位相補償板材料 23 を構成している光学材料 22 にそのまま転写されることとなる。なお、ここでのエッチングの手法としては、例えば、ケミカル・アシスト・イオン・ビーム・エッチング (CIBE) が好適である。

【0115】以上の工程の結果、光学材料 22 の表面が曲面形状とされ、結果として、図 23 に示すように、基板 8 の上に、当該基板 8 よりも屈折率が低い光学部材 9 が配されてなり、且つ当該光学部材 9 の基板 8 に接していない方の面 9a が非平面とされた位相補償板 6 が完成する。

【0116】なお、上記製造方法では、レジスト層 24 を露光する際に、電子線ビームの強度を直接変化させることで、露光強度分布を持たせてレジスト層 24 を露光した。しかし、露光強度分布を持たせてレジスト層 24 を露光する手法は上記の例に限定されるものではなく、例えば、光又は電子線の透過率に分布を持つグレースケールマスクを介して、光又は電子線をレジスト層 24 に照射することで、レジスト層 24 の露光時に露光強度分布を持たせるようにしてもよい。グレースケールマスクを用いた場合の製造工程の例を図 24 乃至図 27 に示す。

【0117】この場合は、図 24 に示すように、基板 21 の上に光学材料 22 が配されてなる位相補償板材料 23 の上にレジスト層 24 を形成し、当該レジスト層 24 を、所望する位相補償板 6 の面形状に対応するように露光強度分布を持たせた光又は電子線により露光する。このとき、レジスト層 24 の露光は、所望する位相補償板 6 の面形状に対応するように光透過率又は電子線透過率に分布を持つグレースケールマスク 25 を介して、レジスト層 24 に光又は電子線を照射することで行う。

【0118】なお、ここでの露光は、グレースケールマスク 25 の縮小露光、グレースケールマスク 25 の拡大露光、グレースケールマスク 25 の密着露光の何れでもよい。また、このようにグレースケールマスク 25 を用いてレジスト層 24 を露光する際は、必要に応じて、スッテパー、プロジェクター、コンタクトアライナー等を用いてもよい。

【0119】次に、図 25 に示すように、レジスト層 24 を現像して、レジスト層 24 の表面形状を、所望する位相補償板 6 の面形状に対応した形状とする。なお、本例においては、図 24 に示したように、レジスト層 24 の露光を、所望する位相補償板 6 の面形状に対応するように光透過率又は電子線透過率に分布を持つグレースケールマスク 25 を介して行っているため、現像されたレジスト層 24 の表面形状は、所望する位相補償板 6 の面形状に対応した曲面形状となる。

【0120】次に、図 26 に示すように、位相補償板材料 23 を構成している光学材料 22 をレジスト層 24 とともにエッチングして、位相補償板材料 23 の表面を所定の曲面形状とする。このとき、位相補償板材料 23 を構成している光学材料 22 のエッチングレートと、レジスト層 24 のエッチングレートとをほぼ等しくしておけば、レジスト層 24 の表面形状が、位相補償板材料 23 を構成している光学材料 22 にそのまま転写されることとなる。なお、ここでのエッチングの手法としては、例えば、ケミカル・アシスト・イオン・ビーム・エッチング (CIBE) が好適である。

【0121】以上の工程の結果、光学材料 22 の表面が曲面形状とされ、結果として、図 27 に示すように、基板 8 の上に、当該基板 8 よりも屈折率が低い光学部材 9 が配されてなり、且つ当該光学部材 9 の基板 8 に接していない方の面 9a が非平面とされた位相補償板 6 が完成する。

【0122】＜光学ヘッド＞つぎに、本発明を適用した光学ヘッドの実施の形態について説明する。なお、ここでは、光磁気ディスク 4 に対して記録再生を行う光学ヘッドであって、光磁気ディスク 4 の記録再生に使用する光の波長以下の間隔で光磁気ディスク 4 に対向するように支持されるソリッドイマージョンレンズとして、図 28 に示すような反射光学系を有するカタディオプトリックレンズ 31 を備えた光学ヘッドを例に挙げる。なお、このカタディオプトリックレンズ 31 は、反射光学系を有することから、ソリッドイマージョンミラーと称されることもある。

【0123】図 28 に示すカタディオプトリックレンズ 31 は、凹面屈折面からなる第 1 面 S1 と、平面ミラーからなる第 2 面 S2 と、凹面非球面ミラーからなる第 3 面 S3 と、全反射平面となる第 4 面 S4 とを有する。このカタディオプトリックレンズ 31 に入射した入射光束は、先ず、凹面屈折面からなる第 1 面 S1 で拡大され

て、平面ミラーからなる第2面S2に入射する。次に、第2面S2で反射され、凹面非球面ミラーからなる第3面S3に入射する。次に、第3面S3で反射され、第2面S2の中央に設けられた開口を通して第4面S4又はその近傍に焦点を結ぶ。

【0124】そして、第4面S4又はその近傍に焦点を結んだ光は、その大部分が当該第4面S4で全反射される。このとき、第4面S4と光磁気ディスク4との間隔を十分に狭めておけば、上記ソリッドイマージョンレンズ7を用いた場合と同様に、エバネッセント光の一部が10 光磁気ディスク4と結合してレンズ外に取り出され、当該エバネッセント光を利用した記録再生が可能となる。

【0125】このようなカタディオプトリックレンズ31を備えた光学ヘッドの一例を図29に示す。この光学ヘッド40は、光磁気ディスク4に対して記録再生を行うためのものであり、エバネッセント光を利用することで、回折限界以下の微小な記録ピットでの記録再生が可能となっている。

【0126】ここで、記録再生の対象となる光磁気ディスク4は、基板2の上に光磁気記録膜3が形成されてなり、当該光磁気記録膜3の側が光学ヘッド40に対向するように配される。すなわち、上記光学ヘッド40は、20 光磁気ディスク4の基板2の側ではなく、光磁気記録膜3の側に配置される。これは、この光学ヘッド40がエバネッセント光を利用して記録再生を行うため、光学ヘッド40と光磁気ディスク4の光磁気記録膜3との間隔を十分に狭める必要があるからである。

【0127】この光学ヘッド40は、浮上型スライダとして機能するガラス基盤41と、レーザ光源からのレーザ光を伝搬する単一モードの光ファイバ42と、光ファイバ42から出射されたレーザ光を反射する可動ミラー43と、可動ミラー43によって反射されたレーザ光が入射するように配置されたプリズム44と、プリズム44から出射されたレーザ光が入射するように配置された位相補償板45と、位相補償板45を透過してきたレーザ光を平行光とするためのコリメーターレンズ46と、コリメーターレンズ46によって平行光とされたレーザ光が入射されるカタディオプトリックレンズ31と、カタディオプトリックレンズ31の結像点の周囲に配置された磁界発生用コイル47とを備えている。30

【0128】この光学ヘッド40において、カタディオプトリックレンズ31は、第1面S1、第2面S2及び第3面S3を構成する第1のレンズ媒質31Aと、第4面S4を構成する第2のレンズ媒質31Bとを備えており、第1のレンズ媒質31Aによって構成される第2面S2を含む平面に、第2のレンズ媒質31Bが接合されてなる。

【0129】なお、この第2のレンズ媒質31Bは、ガラス基盤41の一部によって構成されている。すなわち、ガラス基盤41は、カタディオプトリックレンズ3 50

1の一部を兼ねており、カタディオプトリックレンズ31は、第1のレンズ媒質31Aをガラス基盤41に接合することにより構成されている。

【0130】また、カタディオプトリックレンズ31の一部を兼ねているガラス基盤41には、磁界発生用コイル47が埋設されている。この磁界発生用コイル47は、光磁気ディスク4に対する記録時に、光磁気ディスク4に対して記録磁界を印加するためのものであり、カタディオプトリックレンズ31の結像点の周囲を取り巻くように形成されている。したがって、カタディオプトリックレンズ31に入射したレーザ光は、磁界発生用コイル47の中央において、ガラス基盤41の端面に結像する。なお、このような磁界発生用コイル47は、例えば、薄膜プロセスにより薄膜コイルパターンをガラス基盤41に埋設することにより形成する。

【0131】この光学ヘッド40を用いて光磁気ディスク4に対して記録再生を行うときは、光磁気ディスク4を回転駆動させて、当該光磁気ディスク4上において、光学ヘッド40を浮上させる。このとき、図示していないが弾性部材によって弾性を持たせた状態でガラス基盤41を支持し、ガラス基盤41と光磁気ディスク4との間隔が、光ファイバ42から出射されるレーザ光の波長以下、より好ましくは100nm程度以下に保たれるようにしておく。

【0132】そして、光学ヘッド40を光磁気ディスク4上において浮上させた状態で、レーザ光源からレーザ光を出射し、当該レーザ光を光ファイバ42によって伝搬する。光ファイバ42によって伝搬され、当該光ファイバ42から出射されたレーザ光は、可動ミラー43によって反射される。

【0133】そして、可動ミラー43によって反射されたレーザ光はプリズム44に入射し、このレーザ光はプリズム44の内部で反射して折り返されて、位相補償板45へと導かれる。この位相補償板45は、上記対物レンズ1の位相補償板6に相当するものであり、入射光のp偏光成分とs偏光成分との間に位相差を発生させるとともに、当該位相差が、通過する光線の傾角によって異なるようになされている。

【0134】そして、位相補償板45を透過したレーザ光は、コリメーターレンズ46によって平行光とされた上で、カタディオプトリックレンズ31に入射する。カタディオプトリックレンズ31に入射したレーザ光は、先ず、凹面屈折面からなる第1面S1で拡大されて、平面ミラーからなる第2面S2に入射する。次に、第2面S2で反射され、凹面非球面ミラーからなる第3面S3に入射する。次に、第3面S3で反射され、第2面S2の中央に設けられた開口を通して第4面S4の全反射平面上又はその近傍に結像する。

【0135】このとき、レーザ光の大部分は第4面S4において全反射するが、このとき、第4面S4と光磁気

ディスク 4 との間隔をレーザ光の波長以下に保つようにしているため、エバネッセント光の一部が光磁気ディスク 4 と結合してレンズ外に取り出される。そして、この光学ヘッド 40 では、このエバネッセント光を利用して光磁気ディスク 4 に対する記録再生を行う。

【0136】なお、記録時には、上述のようにエバネッセント光を光磁気ディスク 4 に結合させるとともに、磁界発生用コイル 47 に電流を流して磁界を発生させて、エバネッセント光が光磁気ディスク 4 と結合している部分に磁界を印加する。これにより、光磁気ディスク 4 に

10 に対して光磁気記録を行う。

【0137】ここで、光磁気記録の方式は、記録する情報信号に対応させて光磁気ディスク 4 に印加する磁界の強度を変調する磁界強度変調方式であっても、記録する情報信号に対応させて光磁気ディスク 4 に照射する光の強度を変調する光強度変調方式であっても良い。

【0138】ところで、この光学ヘッド 40 において、可動ミラー 43 にはアクチュエータを取り付けておき、当該アクチュエータを駆動することにより、可動ミラー 43 によるレーザ光の反射角を変化させることができるようにしておく。可動ミラー 43 によるレーザ光の反射角を変化させると、カタディオプトリックレンズ 31 に入射する入射光束の傾角が変化する。その結果、カタディオプトリックレンズ 31 の第 4 面 S4 における結像点が、可動ミラー 43 の動作方向に移動する。

【0139】すなわち、この光学ヘッド 40 では、可動ミラー 43 によるレーザ光の反射角を変化させることで、カタディオプトリックレンズ 31 の第 4 面 S4 における結像点を、可動ミラー 43 の動作方向に走査することが可能となっている。これを利用することで、この光学ヘッド 40 では、例えば、いわゆる視野内アクセスや視野内トラッキングを行うようなことが可能となっている。

【0140】なお、ここでは、光磁気ディスク 4 に照射するレーザ光を集光するカタディオプトリックレンズ 31 を含む光学系の部分を中心に説明し、その他の光学系の詳細については説明を省略した。しかし、実際には、光学ヘッド 40 には、光磁気ディスク 4 によって反射されて戻ってきた戻り光を検出する光学系等も設けられることは言うまでもない。

【0141】以上のような本発明を適用した光学ヘッド 40 では、記録再生に使用するレーザ光の光路中に位相補償板 45 を配することで、カタディオプトリックレンズ 31 の第 4 面 S4 で全反射されて戻ってくる戻り光の偏光状態の分布を、上述した実施例と同様、均一化することができる。したがって、この光学ヘッド 40 では、位相補償板 45 の光学特性や形状等を最適に設定することで、得られる光磁気信号の変調度を高めることができる。

【0142】なお、上記光学ヘッド 40 では、ソリッド

イメージョンレンズとして、反射光学系を有するカタディオプトリックレンズ 31 を用いたが、本発明に係る光学ヘッドでは、反射光学系を持たないソリッドイメージョンレンズを用いることも可能である。その場合は、例えば、光学ヘッド 40 におけるカタディオプトリックレンズ 31、位相補償板 45 及びコリメータレンズ 46 の代わりに、図 1 に示したような透過型のソリッドイメージョンレンズ 7 を備えた対物レンズ 1 を用いる。

【0143】また、以上の説明では、記録媒体として光磁気ディスクを例に挙げたが、本発明は、ソリッドイメージョンレンズのレンズ端面で全反射して戻ってくる戻り光の偏光状態の分布の不均一性が問題となるような場合に広く適用可能であり、対象となる記録媒体は、光磁気ディスクに限定されるものではない。

【0144】

【発明の効果】ソリッドイメージョンレンズの有効開口数が比較的に大きい場合や、ソリッドイメージョンレンズとソリッドイメージョンレンズに対向する物体との間隔が比較的に大きい場合には、ソリッドイメージョンレンズのレンズ端面で全反射されて戻ってきた戻り光の偏光状態の分布に不均一性が生じる。しかし、本発明に係る対物レンズや光学ヘッドでは、このような偏光状態の分布を、光路中に配された位相補償板によって均一化することができる。

【0145】したがって、例えば、本発明に係る対物レンズや光学ヘッドを光磁気ディスクの再生に用いた場合には、ソリッドイメージョンレンズの有効開口数を大きくしても、また、ソリッドイメージョンレンズのレンズ端面と光磁気ディスクとの間隔を比較的に大きく確保しても、戻り光の偏光状態の分布を均一化することができ、その結果、高い変調度の光磁気信号が得られる。したがって、本発明に係る対物レンズや光学ヘッドを用いることで、光磁気ディスク等の記録媒体の更なる高密度化を進めることが可能となる。

【0146】また、本発明に係る位相補償板の製造方法によれば、以上のような対物レンズや光学ヘッドに用いる位相補償板を、容易に且つ精度良く製造することができる。したがって、本発明に係る位相補償板の製造方法によれば、戻り光に含まれる偏光状態の分布を精度良く均一化することができる対物レンズや光学ヘッドを、低コストで提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を適用した対物レンズの一構成例を示す図である。

【図 2】本発明を適用した対物レンズで使用される位相補償板の一例を示す図である。

【図 3】光磁気ディスクの膜構造の一例を示す図である。

【図 4】位相補償板が無い場合について、光磁気ディスクとソリッドイメージョンレンズとの間の空気層の厚さ

と、得られる光磁気信号の変調度との関係を示す図である。

【図 5】実施例 1 における位相補償板のソリッドイマージョンレンズ対向面の面形状を示す図である。

【図 6】実施例 1 における戻り光の楕円率について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 7】実施例 1 における戻り光の偏光面の回転角について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 8】実施例 1 における戻り光の直交偏光成分の強度について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 9】実施例 2 における位相補償板のソリッドイマージョンレンズ対向面の面形状を示す図である。

【図 10】実施例 2 における戻り光の楕円率について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 11】実施例 2 における戻り光の偏光面の回転角について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 12】位相補償板を使用した場合について、光磁気ディスクの光磁気記録膜を構成する第 2 の誘電体膜の膜厚と、得られる光磁気信号の変調度との関係を示す図である。

【図 13】実施例 3 において、光磁気ディスクの光磁気記録膜を構成する第 2 の誘電体膜の膜厚を 92.5 nm としたときの戻り光の楕円率について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 14】実施例 4 における戻り光の楕円率について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 15】実施例 5 における位相補償板のソリッドイマージョンレンズ対向面の面形状を示す図である。

【図 16】実施例 5 における戻り光の楕円率について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 17】実施例 5 における戻り光の偏光面の回転角について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 18】実施例 5 における戻り光の直交偏光成分の強度について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 19】位相補償板の製造工程の第 1 の例を説明するための図であり、基板の上に光学材料が配された位相補償板材料の一部断面を示す図である。

【図 20】位相補償板の製造工程の第 1 の例を説明するための図であり、位相補償板材料上にレジスト層を形成し、当該レジスト層を所望する位相補償板の面形状に対応するように露光強度分布を持たせた電子線ビームによ

り露光する様子を示す図である。

【図 21】位相補償板の製造工程の第 1 の例を説明するための図であり、レジスト層を現像し、当該レジスト層の表面形状を所望する位相補償板の面形状に対応した形状とした状態を示す図である。

【図 22】位相補償板の製造工程の第 1 の例を説明するための図であり、位相補償板材料を構成している光学材料をレジスト層とともにエッチングする様子を示す図である。

10 【図 23】位相補償板の製造工程の第 1 の例を説明するための図であり、基板上当該基板よりも屈折率が低い光学部材が配され、且つ当該光学部材の基板に接していない方の面が非平面とされた位相補償板を示す図である。

【図 24】位相補償板の製造工程の第 2 の例を説明するための図であり、位相補償板材料上にレジスト層を形成し、当該レジスト層を所望する位相補償板の面形状に対応するように、グレースケールマスクにより露光強度分布を持たせた光又は電子線により露光する様子を示す図である。

20 【図 25】位相補償板の製造工程の第 2 の例を説明するための図であり、レジスト層を現像し、当該レジスト層の表面形状を所望する位相補償板の面形状に対応した形状とした状態を示す図である。

【図 26】位相補償板の製造工程の第 2 の例を説明するための図であり、位相補償板材料を構成している光学材料をレジスト層とともにエッチングする様子を示す図である。

30 【図 27】位相補償板の製造工程の第 2 の例を説明するための図であり、基板上当該基板よりも屈折率が低い光学部材が配され、且つ当該光学部材の基板に接していない方の面が非平面とされた位相補償板を示す図である。

【図 28】本発明を適用した光学ヘッドで使用されるカタディオプトリックレンズの一例を示す図である。

【図 29】本発明を適用した光学ヘッドの一構成例を示す図である。

【図 30】ソリッドイマージョンレンズを用いて光磁気ディスクの記録再生を行う様子を示す図である。

40 【図 31】TIRにおける反射光の p 偏光成分の位相  $\phi_p$ 、s 偏光成分の位相  $\phi_s$ 、並びにそれらの位相差  $\phi_p - \phi_s$  について、それらの入射角依存性を示す図である。

【図 32】従来のソリッドイマージョンレンズを用いた対物レンズにおける、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面で全反射されて戻ってくる戻り光の楕円率について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 33】従来のソリッドイマージョンレンズを用いた対物レンズにおける、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面で全反射されて戻ってくる戻り光の偏光面の回

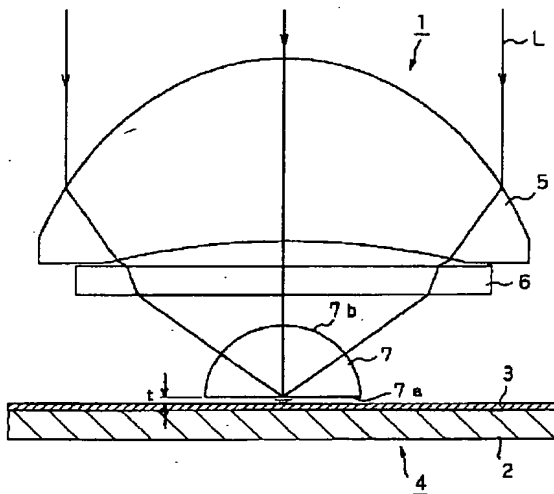


転角について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

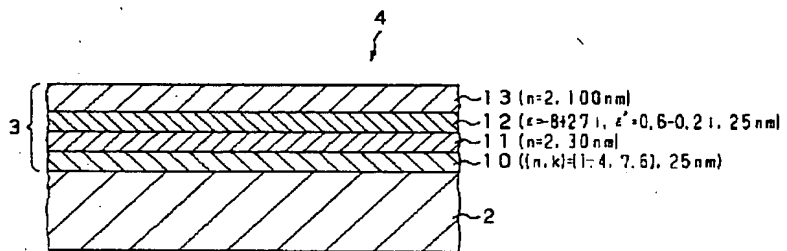
【図 3 4】従来のソリッドイマージョンレンズを用いた対物レンズにおける、ソリッドイマージョンレンズのレンズ端面で全反射されて戻ってくる戻り光の直交偏光成分の強度について、その対物レンズ出射瞳上での分布を濃淡で示した図である。

【図 3 5】光磁気ディスクからの戻り光の直交偏光成分

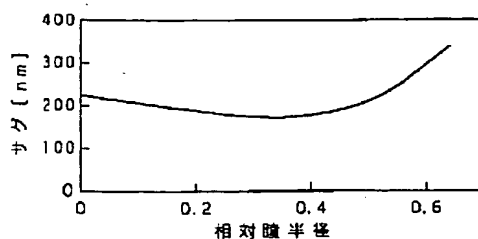
【図 1】



【図 3】

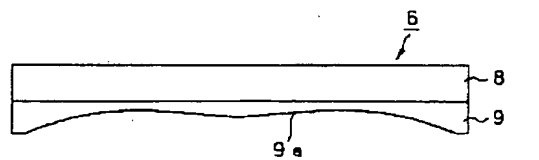


【図 5】

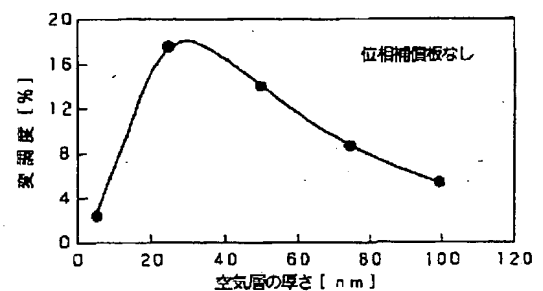


位相補償板の面形状 (実施例 1)

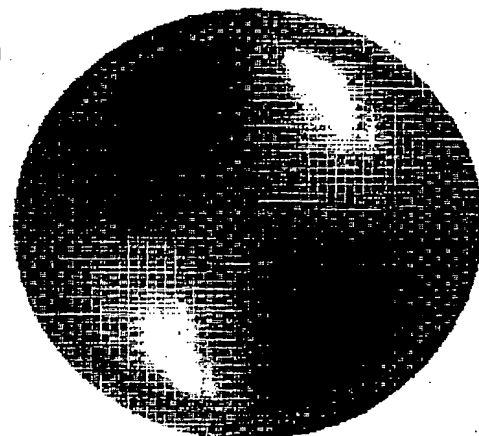
【図 2】



【図 4】

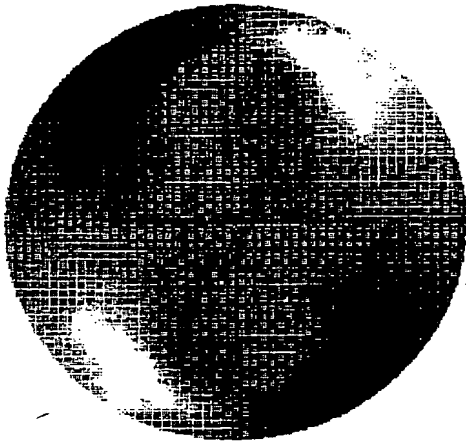


【図 6】



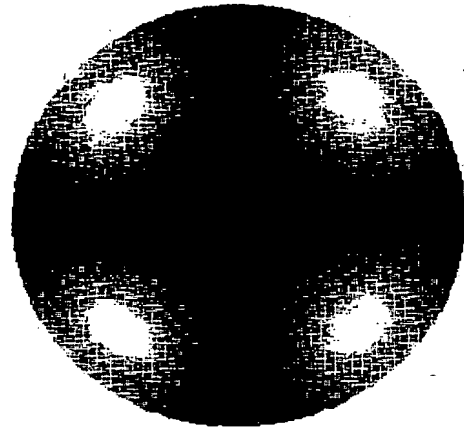
瞳率の分布

【図 7】



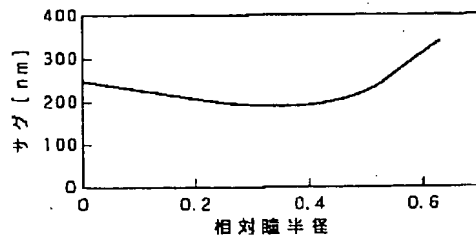
偏光面の回転角の分布

【図 8】



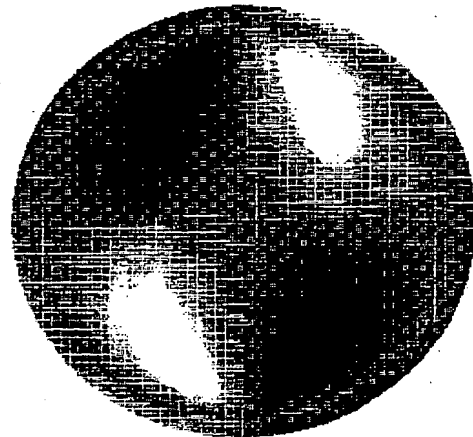
直交偏光成分の強度分布

【図 9】



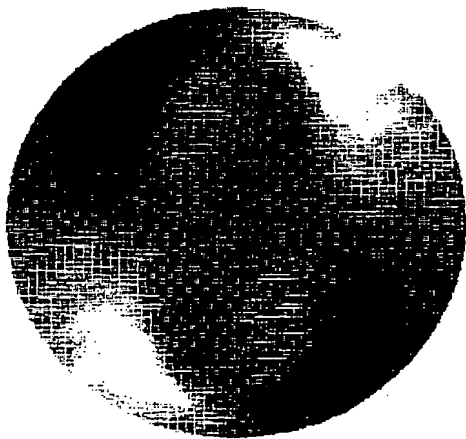
位相補償板の面形状(実施例2)

【図 10】



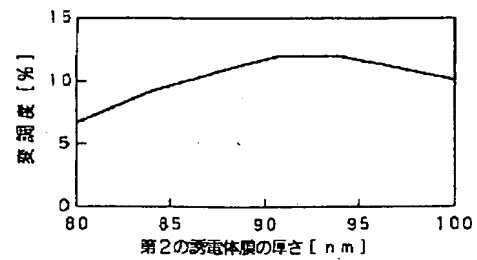
積円率の分布

【図 11】

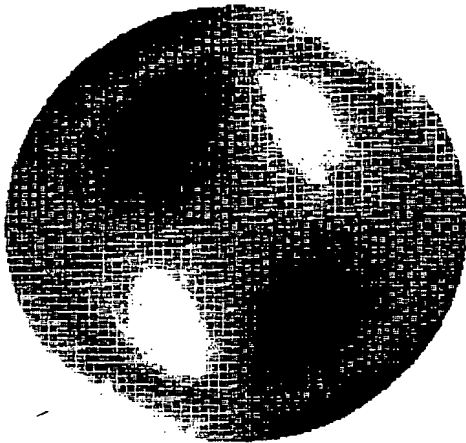


偏光面の回転角の分布

【図 12】

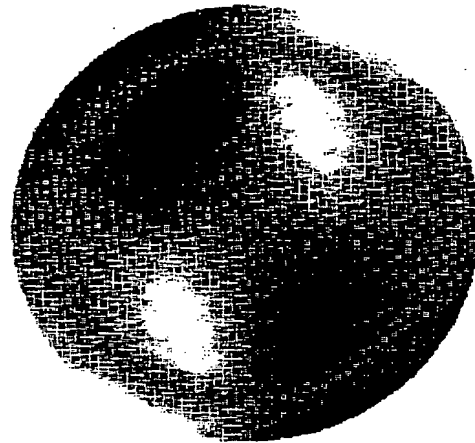


【図 13】



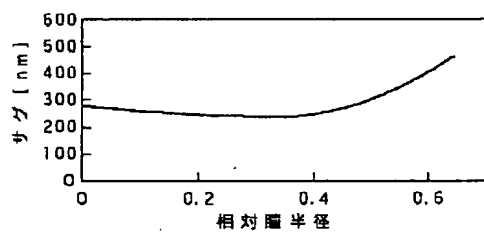
楕円率の分布

【図 14】



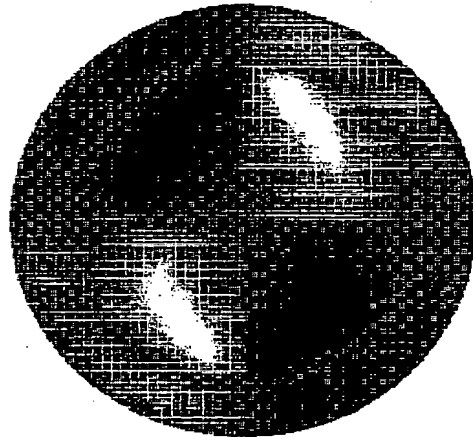
楕円率の分布

【図 15】



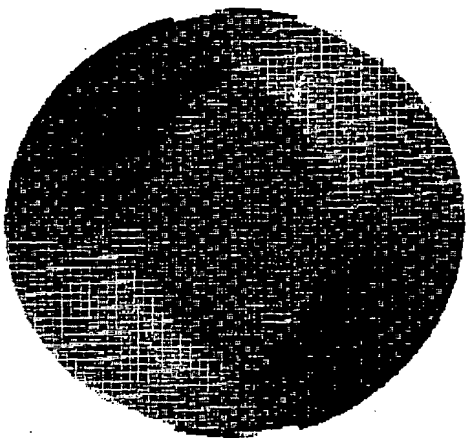
位相補償板の面形状 (実施例 5)

【図 16】



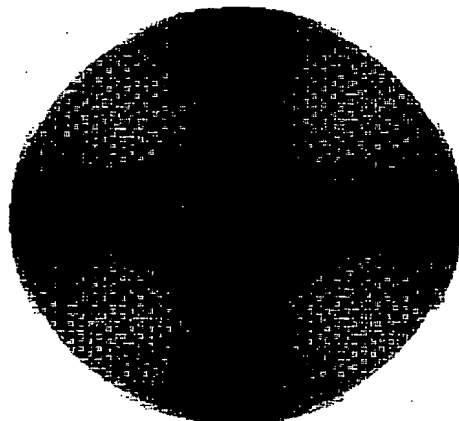
楕円率の分布

【図 17】



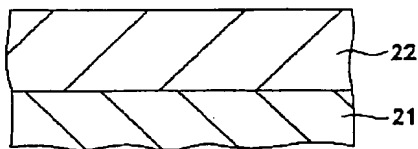
偏光面の回転角の分布

【図 18】

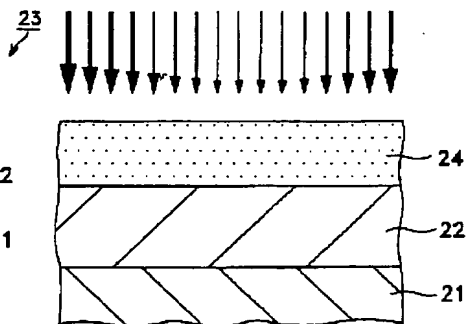


直交偏光成分の強度分布

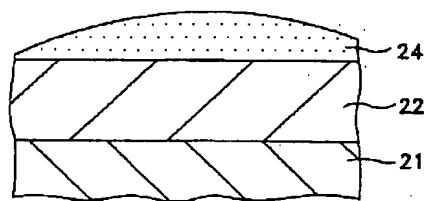
【図 19】



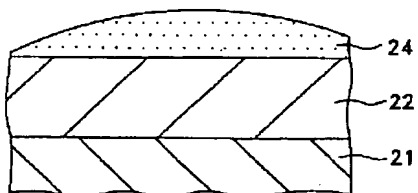
【図 20】



【図 21】



【図 22】



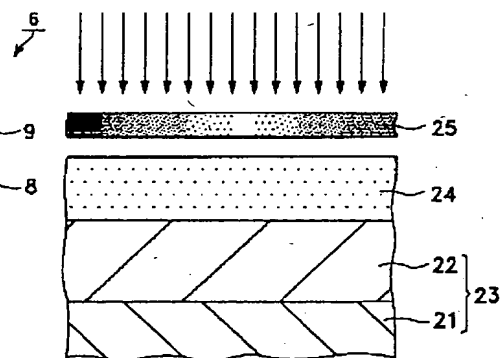
【図 25】

【図 23】

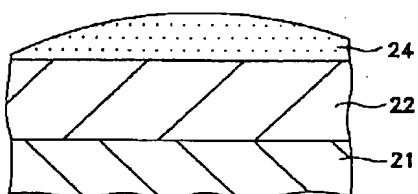


【図 26】

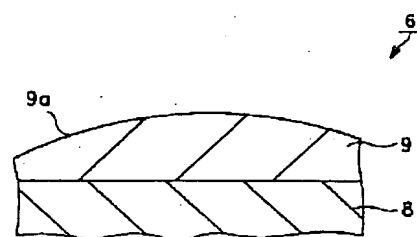
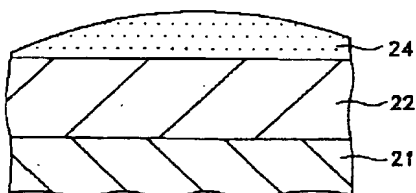
【図 24】



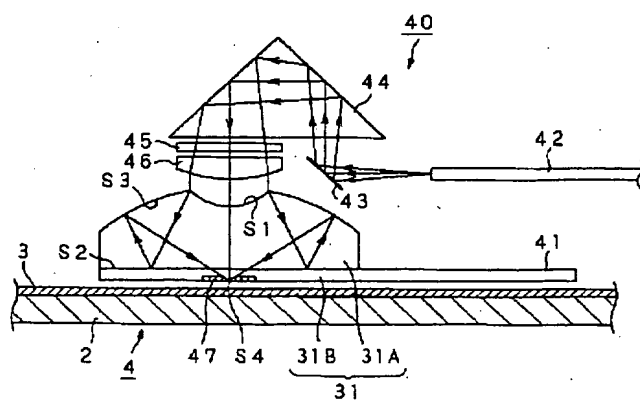
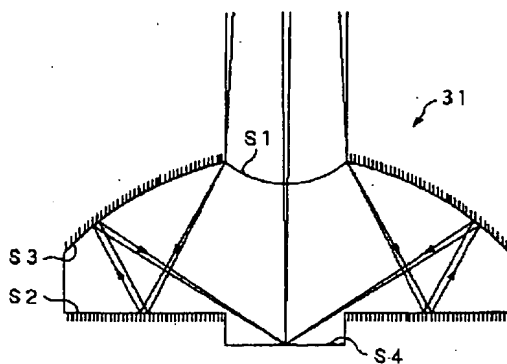
【図 27】



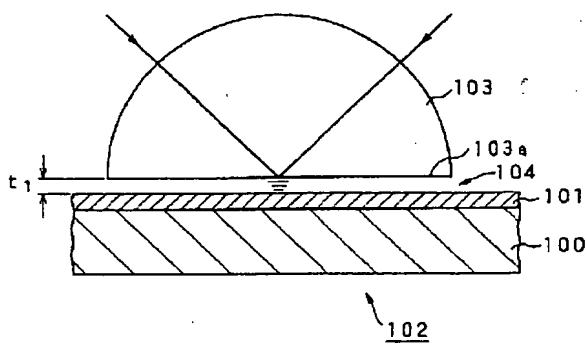
【図 28】



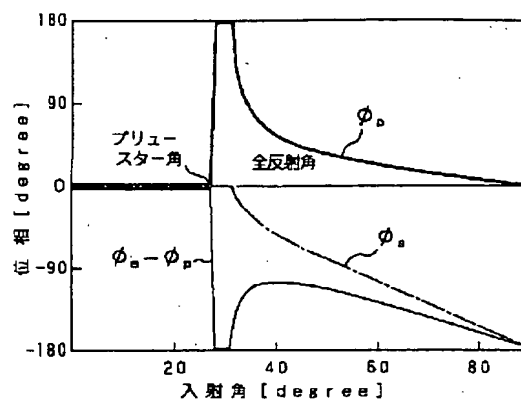
【図 29】



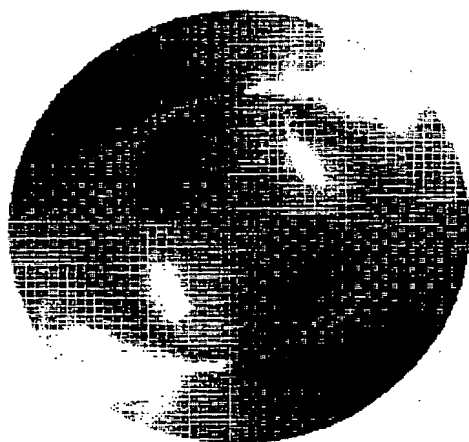
【図 30】



【図 31】

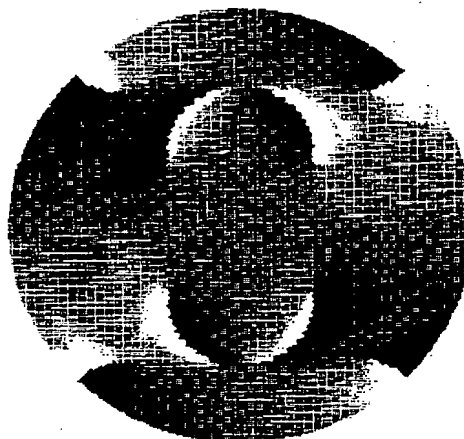


【図 32】



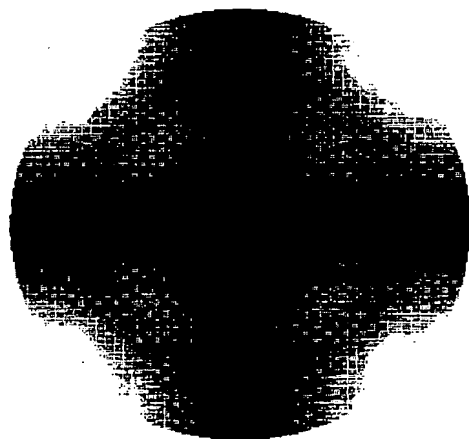
楕円率の分布

【図 33】



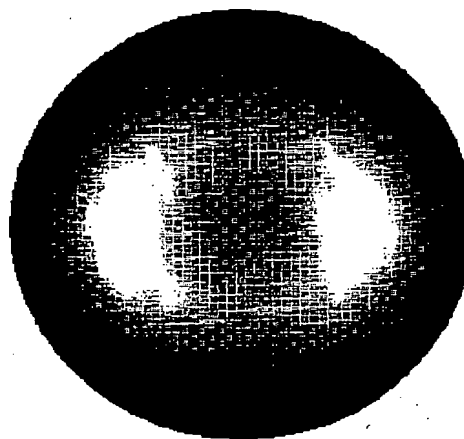
偏光面の回転角の分布

【図 34】



直交偏光成分の強度分布

【図 35】

光導電膜の光学活性に起因する  
直交偏光成分の強度分布

フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	タームコード (参考)
G 1 1 B 11/10	5 5 1	G 1 1 B 11/10	5 5 1 F
	5 5 6		5 5 6 B

F ターム (参考) 2H049 BA06 BA42 BA43 BB62 BC21  
 2H087 KA13 LA01 PA02 PA17 PB02  
 QA02 QA05 QA12 QA21 QA33  
 QA41 RA00 RA42 TA01 TA04  
 TA06 UA02  
 5D119 AA11 AA22 BA01 BB05 CA06  
 EC13 EC32 EC35 FA05 JA31  
 JA44 JB03 NA05  
 9A001 BB06 HH34 KK16